

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-209913

(P2010-209913A)

(43) 公開日 平成22年9月24日 (2010.9.24)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
F O 4 D 29/38 (2006.01)	F O 4 D 29/38 F	3 H 1 3 O
F O 4 D 29/02 (2006.01)	F O 4 D 29/02	
	F O 4 D 29/38 C	
	F O 4 D 29/38 G	

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2010-47302 (P2010-47302)	(71) 出願人	390041542
(22) 出願日	平成22年3月4日 (2010.3.4)		ゼネラル・エレクトリック・カンパニー
(31) 優先権主張番号	12/399, 261		GENERAL ELECTRIC COMPANY
(32) 優先日	平成21年3月6日 (2009.3.6)		アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネクタデー、リバーロード、1 番
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100137545
			弁理士 荒川 聡志
		(74) 代理人	100105588
			弁理士 小倉 博
		(74) 代理人	100129779
			弁理士 黒川 俊久
		(72) 発明者	ジェーン・マリー・リプキン
			アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ニスカユナ、サンドラ・レーン、1 2 3 7 番
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 耐エロージョン性・耐食性タービン圧縮機翼形部及びその製造方法

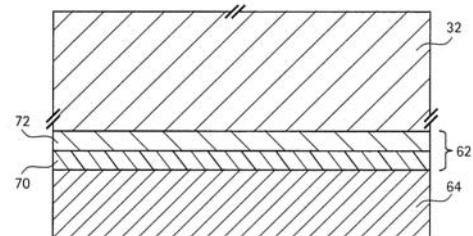
(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 耐エロージョン性と耐食性が共に改善されたステンレス鋼タービン圧縮機翼形部を提供する

【解決手段】 耐エロージョン性犠牲タービン圧縮機翼形部は、改質された翼形表面 3 2 を有する。翼形表面 3 2 は、Al、Cr、Zn、Ni-Al 合金、Al-Si 合金、Al 基合金、Cr 基合金、Zn 基合金、Al ポリマー複合材又はこれらの組合せの層、又は導電性アンダーコート 7 0 とその上に設けられた無機マトリックスバインダー中に複数のセラミック粒子と導電性粒子を埋設してなるオーバーコート 7 2 の層からなる犠牲皮膜 6 2 を含む翼形部皮膜を有する。翼形表面 3 2 に犠牲皮膜 6 2 又は耐エロージョン性皮膜 6 4 の一方が設けられ、その上に耐食性皮膜又は耐エロージョン性皮膜 6 4 の他方が設けられ、犠牲皮膜 6 2 は翼形表面 3 2 又は耐エロージョン性皮膜 6 4 よりも卑である。

【選択図】 図 5

FIG. 5



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

翼形表面（32）を有するタービン圧縮機翼形部（1）と、

Al、Cr、Zn、Ni-Al 合金、Al-Si 合金、Al 基合金、Cr 基合金、Zn 基合金、Al ポリマー複合材又はこれらの組合せからなる層、又は導電性アンダーコート（70）とその上に設けられた無機マトリックスバインダー中に複数のセラミック粒子と導電性粒子を埋設してなるオーバーコート（72）の層を含む犠牲皮膜（62）と、

耐エロージョン性皮膜（64）と

を含んでなり、翼形表面（32）に犠牲皮膜（62）又は耐エロージョン性皮膜（64）の一方が設けられ、その上に犠牲皮膜（62）又は耐エロージョン性皮膜（64）の他方が設けられており、犠牲皮膜（62）が翼形表面（32）又は耐エロージョン性皮膜（64）よりも卑である、タービン圧縮機翼形部（1）。 10

【請求項 2】

翼形表面（32）がステンレス鋼又は超合金からなる、請求項 1 記載のタービン圧縮機翼形部（1）。 20

【請求項 3】

耐エロージョン性皮膜（64）がセラミック又はサーメット（66）の層からなる、請求項 1 又は請求項 2 記載のタービン圧縮機翼形部（1）。 20

【請求項 4】

耐エロージョン性皮膜（64）が、 Al_2O_3 、 Cr_2O_3 、 Y_2O_3 、 ZrO_2 、 CeO_2 、 TiO_2 、 Ta_2O_5 、 TaO_2 、 Cr_3C_2 、WC、TiC、ZrC、 B_4C 、ダイヤモンド、ダイヤモンドライクカーボン、BN、TiN、ZrN、HfN、CrN、 Si_3N_4 、AlN、TiAlN、TiAlCrN、TiCrN、TiZrN、 TiB_2 、 ZrB_2 、 Cr_3B_2 、 W_2B_2 、TiCN、CrBN、TiBN、WC-Co、WC-CoCr、WC-Ni、TiC-Ni、TiC-Fe、 $Ni(Cr)-Cr_3C_2$ 若しくは TaC-Ni 又はこれらの組合せの層からなる、請求項 3 記載のタービン圧縮機翼形部（1）。 20

【請求項 5】

耐エロージョン性皮膜（64）がセラミック又はサーメット（66）の単一層である、請求項 4 記載のタービン圧縮機翼形部（1）。 30

【請求項 6】

さらに、セラミック又はサーメット（66）層の下に設けられた金属（68）の層を含む、請求項 5 記載のタービン圧縮機翼形部（1）。 30

【請求項 7】

耐エロージョン性皮膜（64）がさらに、複数の金属層（68）と複数のセラミック又はサーメット層（66）を含む、請求項 5 記載のタービン圧縮機翼形部（1）。 30

【請求項 8】

翼形表面（32）に犠牲皮膜（62）が設けられ、犠牲皮膜（62）の上に耐エロージョン性皮膜（64）が設けられている、請求項 1 乃至請求項 7 のいずれか 1 項記載のタービン圧縮機翼形部（1）。 40

【請求項 9】

翼形表面（32）に耐エロージョン性皮膜（64）が設けられ、耐エロージョン性皮膜（64）の上に犠牲皮膜（62）が設けられている、請求項 1 乃至請求項 7 のいずれか 1 項記載のタービン圧縮機翼形部（1）。 40

【請求項 10】

タービン圧縮機翼形部（1）の製造方法であって、

翼形表面（32）を有するタービン圧縮機翼形部（1）を準備し、

Al、Cr、Zn、Ni-Al 合金、Al-Si 合金、Al 基合金、Cr 基合金、Zn 基合金、Al ポリマー複合材又はこれらの組合せからなる層又は導電性アンダーコート（70）とその上に設けられた無機マトリックスバインダー中に複数のセラミック粒子と導電性粒子を埋設してなるオーバーコート（72）の層を含む犠牲皮膜（62）或いは耐エ 50

ロージョン性皮膜（６４）の一方を翼形表面（３２）上に設け、

翼形表面（３２）上に設けた犠牲皮膜（６２）又は耐エロージョン性皮膜（６４）の一方の上に他方の皮膜を設ける

ことを含んでなり、耐食性皮膜が翼形表面（３２）に対して耐エロージョン性皮膜（６４）よりも卑である、方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、耐食性と耐エロージョン性の向上したタービン圧縮機翼形部を始めとするタービン圧縮機翼形部、並びにかかるタービン圧縮機翼形部の製造方法に関する。具体的には、本発明は、改善された耐食性及び耐エロージョン性をもたらすタービン圧縮機翼形部皮膜を有するタービン圧縮機翼形部、並びに被覆タービン圧縮機翼形部の製造方法に関する。

10

【背景技術】

【０００２】

産業用ガスタービンの圧縮機に使用されているようなステンレス鋼製タービン圧縮機翼形部は、翼形表面の水滴エロージョン及び孔食に感受性を示す。これらは、翼形表面での水滴の衝突、水滴及び／又は吸気中に存在する他の化学種に起因する様々な電気化学的溶解プロセスと関連していると考えられている。翼形表面で電気化学的に惹起される腐食及びエロージョン現象は、部品が繰返し受ける熱及び作動応力のため翼形部に割れを生じかねない。水滴暴露は、圧縮機効率を向上させるための、オンライン水洗、噴霧・蒸発冷却又はこれらのプロセスの様々な組合せを用いた結果として起こることもある。また、各種の化学種が吸気中に含まれている可能性のある化学又は石油化学プラントの近く、各種の海塩が吸気中に存在する可能性のある海岸線その他の塩水環境の近く、或いはこれらの組合せ、或いは吸入空気が腐食性の化学種を含んでいる他の用途など、腐食性の高い環境にタービンが設置されることは多々あるので、水滴暴露がタービンの作動環境に起因することもある。

20

【０００３】

タービン圧縮機翼形部にニッケル基又はチタン基合金のような他の材料を用いるという材料変更は、耐エロージョン性及び／又は耐食性を改善するための一つの方策ではあるが、これらの材料も電気化学プロセスに感受性を有しかねないので、この方策では水滴エロージョン又は孔食の問題を解決できないことがある。さらに、圧縮機動翼の耐食性・耐エロージョン性の改良にステンレス鋼以外の材料を使用するのは概して望ましくない。そうした材料は合金成分のコストが高いため経済的に見合う代替物とはならないからである。また、そうした材料は金属学的及び機械的特性が異なるため、その使用にはタービン圧縮機翼形表面を始めとするタービン動翼の再設計が必要となるという点でも、こうした材料は概して望ましくない。さらに、ニッケル基又はチタン基合金のような材料は様々な摩擦及びフレッティング摩耗機構のような他の劣化現象に感受性であるので、それらを使用しても、タービン圧縮機翼形部を始めとするタービン動翼の全体的頑健性（robustness）を高めることができないおそれがある。

30

40

【０００４】

耐食性翼形部皮膜及び耐食性皮膜をもつ鋼製翼形部の製造方法がそれぞれ米国特許第５０９８７９７号及び同第５２６００９９号に記載されている。これらの米国特許には、標準電位列で鉄よりも上に位置する金属の犠牲アンダーコートと、酸化クロムと酸化アルミニウムと酸化ケイ素の混合物を含むセラミックオーバーコートとを備える耐食性皮膜が記載されている。セラミック材料は、４０３ステンレス鋼翼形部合金の疲労耐性の低下を避けるため６００°F以下の温度で施工されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００５】

50

【特許文献1】米国特許第5098797号明細書

【特許文献2】米国特許第5260099号明細書

【特許文献3】米国特許第7186092号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

ステンレス鋼タービン圧縮機翼形部のエロージョン又は腐蝕耐性を改良するため様々なアプローチが提案されているが、耐エロージョン性と耐食性が共に改善されたステンレス鋼タービン圧縮機翼形部が得られれば望ましい。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の一つの態様に係る耐エロージョン性の犠牲タービン圧縮機翼形部は、翼形表面を有するタービン圧縮機翼形部を備える。翼形表面は、Al、Cr、Zn、Ni-Al合金、Al-Si合金、Al基合金、Cr基合金、Zn基合金、Alポリマー複合材又はこれらの組合せの1種以上からなる層、又は導電性アンダーコートとその上に設けられた無機マトリックスバインダー中に複数のセラミック粒子と導電性粒子を埋設してなるオーバーコートの層を含む犠牲皮膜を含む翼形部皮膜を有する。翼形部皮膜は耐エロージョン性皮膜も含んでおり、犠牲皮膜又は耐エロージョン性皮膜の一方は翼形表面の上に設けられ、その上に犠牲皮膜又は耐エロージョン性皮膜の他方が設けられており、犠牲皮膜は翼形表面又は耐エロージョン性皮膜よりも卑(anodic)である。

【0008】

本発明の別の態様に係る耐エロージョン性の犠牲タービン圧縮機翼形部の製造方法は、改質翼形表面を有するタービン圧縮機翼形部を提供することを含む。本方法は、翼形表面に犠牲皮膜又は耐エロージョン性皮膜の一方を設けることを含んでおり、犠牲皮膜は、Al、Cr、Zn、Ni-Al合金、Al-Si合金、Al基合金、Cr基合金、Zn基合金、Alポリマー複合材又はこれらの組合せの1種以上からなる層、又は導電性アンダーコートとその上に設けられた無機マトリックスバインダー中に複数のセラミック粒子と導電性粒子を埋設してなるオーバーコートの層を含む。本方法は、翼形表面に設けた犠牲皮膜又は耐エロージョン性皮膜の一方の上に他方の皮膜を設けることも含んでおり、犠牲皮膜は翼形表面を基準にして耐エロージョン性皮膜よりも卑である。

【0009】

本発明は本明細書の後の特許請求の範囲に具体的かつ明瞭に記載されている。

【0010】

本発明の上記その他の特徴及び利点については、添付の図面と併せて以下の詳細な説明を参照することによって理解を深めることができよう。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本発明のタービン動翼の形態のタービン圧縮機翼形部の透視図である。

【図2】図1の矢視2-2断面図である。

【図3】図2の領域90の一実施形態の断面図である。

【図4】図2の領域90の第2の実施形態の断面図である。

【図5】図2の領域90の第3の実施形態の断面図である。

【図6】図2の領域90の第4の実施形態の断面図である。

【図7】図2の領域90の第5の実施形態の断面図である。

【図8】本発明の様々なタービン圧縮機翼形部のエロージョン及び腐食性能を示すプロットである。

【図9】本発明のタービン圧縮機翼形部の一実施形態に関する電流の関数としての電気化学電位のプロットである。

【図10】本発明のタービン圧縮機翼形部の一実施形態を代表する試験ピンに対する時間の関数としての電気化学電位及びモニターされた腐食電流のプロットである。

10

20

30

40

50

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下の詳細な説明では、図面を参照して、本発明の実施形態について、その利点及び特徴と併せて、説明する。

【0013】

翼形表面に翼形部皮膜を設けた耐エロージョン性犠牲タービン圧縮機翼形部について開示する。翼形部皮膜は、犠牲皮膜と耐エロージョン性皮膜とを含んでおり、圧縮機動翼、圧縮機静翼、シュラウドその他タービン内で水滴エロージョン・孔食及び隙間腐蝕に付されるおそれのある翼形表面を始めとするタービン圧縮機翼形部用途に特に有用である。翼形表面に犠牲皮膜又は耐エロージョン性皮膜の一方が設けられ、その上に犠牲皮膜又は耐エロージョン性皮膜の他方が設けられる。犠牲皮膜は翼形表面に関して耐エロージョン性皮膜よりも卑である。皮膜系は、タービン圧縮機翼形部用途で向上した水滴エロージョン保護、向上したガルバニ及び隙間腐蝕耐性並びに改善された表面仕上げ及び防汚性能をもたらす。皮膜系では、Ti層とTiN層が交互に並んだ多層Ti/TiN構造を始めとするTiN又はWC-Co-Cr合金の優れた固体粒子・水滴エロージョン耐性を利用する。皮膜系は、Al、Cr、Zn、Al基合金、Cr基合金、Zn基合金又はこれらの組合せからなる1以上の層或いは導電性アンダーコートとアンダーコート上に設けられたセラミック材料のオーバーコートの層によって得られる優れたガルバニック腐蝕耐性も利用する。単層系も多層系も水滴エロージョン耐性であることが判明した。これらの皮膜はエロージョン性・腐食性環境中で基材を保護することが判明した。皮膜は戦略的に配設することができ、皮膜厚はタービン圧縮機翼形部用途について特異的な防水滴エロージョン及び孔食作用をもたらすように設計することができる。

【0014】

本明細書で用いる「含む」及び「備える」という用語は、様々な組成物、化合物、成分、層、工程などの組合せを本発明で用いることができることを意味する。従って、「含む」及び「備える」という用語は、限定的な用語「実質的にからなる」及び「からなる」を包含する。

【0015】

本明細書で開示するタービン圧縮機翼形部1の実施形態では、粒子衝撃・水滴エロージョン耐性及び隙間腐蝕耐性が改善されている。圧縮機翼形部としては、中心ハブ又はディスクに着脱自在に装着し得るタービン圧縮機翼形部1、並びにハブ又はディスクと一体のタービン圧縮機翼形部つまりタービンプリスクがある。本明細書ではタービン動翼10の形態のタービン圧縮機翼形部1を例に取って実施形態を説明するが、これらの説明は多種多様なタービンエンジン部品に用いられるタービン圧縮機翼形部1に広く適用できる。これらには、タービン翼形部100及びノズルに付随するタービン圧縮機翼形部1、シュラウド200、燃焼器ライナー300、並びにその他400のタービン圧縮機翼形部、すなわち、ダイヤフラム部品、シール部品、バルブシステム、ノズルボックス、ノズルプレートなどの翼形表面を有するタービン部品がある。

【0016】

図1に、タービン圧縮機動翼10の形態の典型的なタービン圧縮機翼形部1を示す。動翼10は前縁14、後縁18、先端22及び動翼根元部26を有する。動翼10の翼長28は先端22から動翼根元部26までである。翼長28に含まれる動翼10の表面はタービン圧縮機翼形部1の翼形表面32をなす。翼形表面32は、タービン圧縮機翼形部1のうち、タービン入口（図示せず）からタービンの圧縮機セクションを通してタービンの燃焼室その他の部分に至る空気の流路に暴露される部分である。

【0017】

図2に、動翼10の前縁14と後縁18の間に延在する凸曲面つまり負圧面30と凹曲面つまり正圧面34を示す。前縁14から後縁18まで延在する符号38で示す一点鎖線は動翼10の幅つまり翼弦を規定する。負圧面30と正圧面34の間の符号42で示す両矢印は動翼10の厚さ（通常は「最大」厚さとして測定される。）を規定する。

【0018】

図2を参照すると、動翼10の前縁部46が、翼形表面32の最大のエロージョン及び腐蝕損傷が起こり易い部分であり、特に前縁14又はその近傍でエロージョン及び孔食の発生が起こり易い。図1及び図2を参照すると、最大のエロージョン損傷領域は、翼長28の先端部50、特に先端22又はその近傍の領域で起こる傾向があるとともに、正圧面34の後縁18の直前の部分54に集中する傾向があり、また、それほどではないが正圧面34の前縁14の直後の部分58にも集中する傾向がある。上述の耐エロージョン性犠牲皮膜は、翼形表面32の全面又は一部に設ければよいが、上述のような翼形表面32の腐食及びエロージョンに最も感受性の部分に設けるのに特に適している。

【0019】

タービン圧縮機翼形部1は様々なステンレス鋼及び超合金から製造できる。超合金には、高温（絶対融点の約0.7を超えることが多い）で利用できる金属合金がある。タービン圧縮機翼形部1の製造にはFe基、Co基又はNi基超合金組成物を用いることができる。Fe基、Co基又はNi基超合金における最も一般的な溶質はアルミニウム及び／又はチタンである。概して、アルミニウム及び／又はチタン濃度は低い（例えば、各々約15重量%以下）。その他の任意成分には、クロム、モリブデン、コバルト（Fe基又はNi基超合金の場合）、タングステン、ニッケル（Fe基又はCo基超合金の場合）、レニウム、鉄（Co基又はNi基超合金の場合）、タンタル、バナジウム、ハフニウム、ニオブ、ルテニウム、ジルコニウム、ホウ素、イットリウム及び炭素があり、これらは各々独立に約15重量%以下の量で存在し得る。タービン圧縮機翼形部1は、300系及び400系ステンレス鋼を始めとする様々なグレードのステンレス鋼から製造できる。特に、タービン圧縮機翼形部1の材料としては、450ステンレス鋼、つまり炭素0.05重量%、マンガン1.00重量%、リン0.030重量%、イオウ0.030重量%、ケイ素1.00重量%、クロム14.00~16.00重量%、ニッケル5.00~7.00重量%、モリブデン0.50~1.00重量%、銅1.25~1.75重量%、ニオブ0.35~0.75重量%、残部（約72.14~77.14重量%）の鉄及び不可避不純物からなるマルテンサイト系の時効硬化性合金が挙げられる。

【0020】

翼形表面32は動翼10のベースセグメント又は基材60に付随する表面である。図3~図7に示すように、エロージョンと腐食を抑制し、耐エロージョン性及び耐食性を高めるため、多層翼形部皮膜61は、ベースセグメント60の翼形表面32上に設けられた1以上の犠牲皮膜62と1以上の耐エロージョン性皮膜64を含む。これらの層は翼形表面32上に任意の順序で設ければよく、例えば、翼形表面32に犠牲皮膜62を設け、犠牲皮膜62の表面に耐エロージョン性皮膜64を設けてもよい。或いは、逆の順序を用いてもよく、例えば、翼形表面32に耐エロージョン性皮膜64を設け、耐エロージョン性皮膜64の表面に犠牲皮膜62を設けてもよい。翼形部皮膜61は、複数の耐エロージョン性層64の中に複数の犠牲層62を挟み込んだものでもよく、例えば62/64/62/64/62/64、62/64//62.1、64/62/62.1/64、62/62.1/62.2/64、62/62.1/64/62.1/64などのあらゆる交互配置又は配列でよい（なお、小数点以下第一位は犠牲皮膜62の材料及び耐エロージョン性皮膜64の材料の変動を示すために用いる。）。従って、構造は、一般に、翼形表面32と犠牲皮膜62と耐エロージョン性皮膜64とを有するタービン圧縮機翼形部であって、翼形表面に犠牲皮膜62又は耐エロージョン性皮膜64の一方が設けられ、その上に犠牲皮膜62又は耐エロージョン性皮膜64の他方が設けられたタービン圧縮機翼形部と表すことができる。翼形部皮膜61は所定量の耐食性及び耐エロージョン性をもたらすのに有効な厚さを有していればよく、例えば、犠牲皮膜及び耐エロージョン性皮膜について以下に記載する厚さの合計の厚さを有し得る。翼形部皮膜61は、適当な耐食特性（特にガルバニック腐食及び隙間腐食に関して）と適当な耐エロージョン特性（特に水滴エロージョンに関して）を、動翼10の少なくとも正圧面34の部分54及び58、典型的には正圧面34の全体又は実質的に全体に、さらに典型的には正圧面34及び負圧面30の全体又は

10

20

30

40

50

実質的に全体に付与するように選択される。

【0021】

犠牲皮膜62を犠牲皮膜と名付けた理由は、翼形表面32に比して卑であるからである。犠牲皮膜は、翼形表面32に対して耐エロージョン性皮膜64よりも卑であり、そのため犠牲皮膜62は耐エロージョン性皮膜64に比しても卑である。従って、犠牲皮膜62は、翼形表面32及びベースセグメント60又は耐エロージョン性皮膜64のいずれよりも卑となるように選択される。卑(anodic)であるとは、標準的な熱力学的基準電位に対する犠牲皮膜62の起電力(emf)又は腐食電位が、タービン圧縮機翼形部1が暴露される腐食性(反応性)化学種中で、翼形表面32又は耐エロージョン性皮膜64よりも負であることを意味する。水滴エロージョンに関して、オンライン水洗、噴霧・蒸発冷却又はこれらの様々な組合せに由来するものを始めとして、タービンに意図的に導入される水滴に付随する潜在的な反応性化学種を含むことがある。また、各種の化学種が吸気中に含まれている可能性のある化学又は石油化学プラントの近く、各種の海塩、無機物その他の海水成分が吸気中に存在する可能性のある海岸線その他の塩水環境の近く、或いはこれらの組合せ、或いは吸入空気が腐食性の化学種を含んでいる他の用途など、腐食性の高い環境にタービンが設置されることは多々あるので、反応性化学種がタービンの作動環境に起因することもある。これらの化学種は、外部環境から水滴と共に取り込まれることもあるし、或いは上術のように意図的に導入される水滴と混じり合うこともある。これらの化学種には、特に限定されないが、 Cl^- 、 Br^- 、 F^- 、 S^{2-} などを始めとする様々なイオン性化学種がある。これらの化学種は、水滴と共に、様々な電気化学的反応に参与して翼形表面32の電気化学的エロージョン及び腐食を生じる可能性がある。翼形部皮膜61を使用すると、犠牲皮膜62は、翼形表面32及び耐エロージョン性皮膜64よりも電気化学的に卑であるので、翼形表面32よりも優先的に攻撃されるように構成される。

【0022】

本明細書において、翼形表面32又は耐エロージョン性皮膜64のいずれかに設けられた犠牲皮膜62に言及するときは、犠牲皮膜が、好ましくは化学的又は金属学的結合によって表面に付着し強く接着していて、剥落その他の皮膜劣化過程を示すことなく正常な作動及び熱的応力に付与することができることを意味する。翼形表面32は、一般に、亀裂又は孔食(その他、表面に応力集中部を生起する傾向をもつ特徴部)が表面から翼形部内部に伝播する傾向を低減するため、残留圧縮表面応力を生じるように処理される。残留圧縮応力は、ショットピーニング、レーザーピーニングその他の残留圧縮応力を生じる処理又は方法によって翼形表面32に付与することができる。翼形部皮膜61は、特に翼形表面32が残留圧縮応力32を含んでいる場合、残留圧縮応力、特に翼形表面32の圧縮応力よりも大きな圧縮応力をもつように設けてもよい。一例として、TiNを含む犠牲皮膜62は約3792MPaの残留圧縮応力を有し得る。タービン圧縮機翼形部1は第1の残留圧縮応力(σ_1)をもつ翼形表面32を有し、犠牲皮膜又は耐エロージョン性皮膜の一方は第2の残留圧縮応力(σ_2)を有し、犠牲皮膜又は耐エロージョン性皮膜の他方は第3の残留圧縮応力(σ_3)を有するが、 $\sigma_3 > \sigma_2 > \sigma_1$ である。

【0023】

犠牲皮膜62は、上記のように翼形表面32又は耐エロージョン性皮膜64よりも卑なAl、Cr、Zn、Al基合金、Cr基合金、Zn基合金又はこれらの組合せからなる適当な皮膜材料を含んでいてもよく、様々なガラス、セラミック、ポリマー及びこれらの材料を含む複合材も任意の組合せで含んでいてもよい。特に、代表的な実施形態では、犠牲皮膜62は、Al、Cr、Zn、Ni-Al合金、Al-Si合金、Al基合金、Cr基合金、Zn基合金、Al粒子ポリマー複合材又はこれらの組合せからなる層を含む。これには、これらの材料の粒子状形態その他様々な塗料及び複合材料中の形態での使用があり、例えば、アルミニウム含有率約70重量%以上のアルミニウム粒子顔料含有塗料のような金属粒子顔料含有塗料を含む様々なポリマー材料などが挙げられる。

【0024】

犠牲層62は翼形表面32上又は耐エロージョン性皮膜64上のいずれかに設けること

ができるが、翼形表面 3 2 上に設けるのが特に適しているが、この配置によって卑な材料が翼形表面 3 2 と直接電氣的に接触して表面の陽極保護 (anodic protection) が担保されるからである。犠牲層 6 2 は適当な施工又は堆積法、例えばメッキ (電気及び無電解メッキ)、浸漬、噴霧、塗装、化学気相堆積 (CVD)、EB-PVD のような物理気相堆積 (PVD)、フィルタードアーク蒸着、さらに典型的にはスパッタリングなどによって、薄膜又は厚膜層として設けることができる。本発明での使用に適したスパッタリング技術としては、特に限定されないが、直流ダイオードスパッタリング、高周波スパッタリング、イオンビームスパッタリング、反応性スパッタリング、マグネトロンスパッタリング及びステアードアークスパッタリングがある。犠牲皮膜 6 2 は単一層 (単層) からなるものでもよいし、或いは複数の異なる材料を副層として連続的に設けて犠牲層 6 2 としたものを含め、複数の層として設けてもよい。単一層の構成では、犠牲皮膜 6 2 は翼形表面 3 2 の陽極保護をもたらす (例えば所定又は設計耐用寿命を得るのに必要とされる) 適当な厚さを有していればよい。例えば、金属粒子 / ポリマーマトリックス塗料のような厚膜の形態の犠牲皮膜 6 2 の厚さは約 120 ~ 730 μm の範囲である。薄膜堆積法を用いて施工した犠牲皮膜 6 2 の厚さは概して高い密度を有し、約 5 ~ 50 μm の範囲の厚さを有する。

10

【0025】

別の代表的な実施形態では、犠牲皮膜 6 2 は、米国特許第 5098797 号及び同第 5260099 号に記載されているように、導電性アンダーコートとその上に設けられた無機バインダー中に複数のセラミック粒子と導電性粒子を埋設してなるオーバーコートの層を含むものであってもよい。具体的には、導電性アンダーコートは、ニッケルカドミウム合金層のような連続した比較的薄い犠牲金属層を含んでいてもよい。ニッケルカドミウム層は約 5 ~ 10 μm 、好ましくは約 7.6 ミルの厚さに電気メッキすることができる。或いは、犠牲金属アンダーコートは、常用のフレーム又はプラズマ溶射技術によって或いは好ましくは上記のアルミニウム粒子 / ポリマーマトリックス塗料のような金属塗料を塗工することによって設けることができる。金属塗料を用いる場合、翼形表面をまずグリットブラストしてから乾燥し、加熱硬化させた後、ガラスビーズブラストによる圧密化のように翼形表面と接触する金属粉末を圧密化することによって下処理してもよい。一般に、上述の範囲の厚さをもつ金属塗料の適当なアンダーコートを生成するには、一回の塗工で十分である。オーバーコートはアンダーコート層上に設けられ、複数のセラミック粒子と導電性粒子が埋設された無機マトリックスバインダーを含む。一実施形態では、無機マトリックスバインダーとしては、複数の酸化アルミニウム及び酸化クロムセラミック粒子及びアルミニウム金属粒子を埋設してなるリン酸クロム酸塩バインダーがある。バインダーはコバルトその他の金属又は導電性粒子を含んでいてもよい。オーバーコートは米国特許第 3248251 号に記載された方法を用いて製造できる。埋設金属粒子の量はオーバーコートが翼形表面 3 2 又は耐エロージョン性層 6 4 よりも卑となるように選択すればよい。オーバーコートは適当な厚さに堆積される。一実施形態では、無機マトリックスバインダーが、酸化アルミニウム及び酸化クロムセラミック粒子及びアルミニウム金属粒子を埋設してなるリン酸クロム酸塩バインダーである場合、オーバーコートの厚さは約 3 ミル以上とし得る。このように犠牲皮膜 6 2 が導電性アンダーコート / オーバーコートを含む実施形態では、犠牲層 6 2 は、翼形表面 3 2 又は耐エロージョン性皮膜 6 4 のいずれに設けてもよいが、犠牲皮膜 6 2 はセラミック材料のオーバーコートに付随しかつ得られる耐摩耗性のため耐エロージョン性も与えるので耐エロージョン性皮膜 6 4 の表面に設けるのが特に適している。

20

30

40

【0026】

上述の通り、翼形部皮膜 6 1 の耐エロージョン性皮膜 6 4 部分は翼形表面 3 2 又は犠牲皮膜 6 2 の表面のいずれか、すなわち犠牲皮膜 6 2 の上下いずれかに設けることができる。耐エロージョン性層 6 4 はセラミック、サーメット又はそれらの組合せの硬い耐エロージョン性層を含む。犠牲皮膜 6 2 がリン酸クロム酸塩無機マトリックスバインダーのような導電性アンダーコート / オーバーコートを含んでいる場合、オーバーコートは埋設セラ

50

ミック粒子の硬さ及び耐摩耗性のためある程度の耐エロージョン性も翼形部皮膜61にもたらしことがあるが、リン酸クロム酸塩セラミックオーバーコートは単独では、その多孔質の形態のため十分な耐エロージョン性を与えないので、本発明の耐エロージョン性層64としての使用には適していない。

【0027】

上述の通り、翼形部皮膜61はセラミック材料を耐エロージョン性皮膜64として含んでいてもよい。適当なセラミック組成物としては、 Al_2O_3 、 Cr_2O_3 、 Y_2O_3 、 ZrO_2 、 CeO_2 、 TiO_2 、 Ta_2O_5 、 TaO_2 などの金属酸化物、 Cr_3C_2 、WC、TiC、ZrC、 B_4C などの金属炭化物、ダイヤモンド、ダイヤモンドライクカーボン、BN、TiN、ZrN、HfN、CrN、 Si_3N_4 、AlN、TiAlN、TiAlCrN、TiCrN、TiZrNなどの金属窒化物、 TiB_2 、 ZrB_2 、 Cr_3B_2 、 W_2B_2 などの金属ホウ化物、並びにこれらの組成物を1種以上含む組合せ（例えば、TiCN、CrBN、TiBNなど）がある。或いは、耐エロージョン性皮膜64は、セラミック-金属複合材料（サーメット）、例えば金属マトリックス複合材として特徴付けられるものを含んでいてもよい。適当なサーメットとしては、WC/Co、WC/CoCr、WC/Ni、TiC/Ni、TiC/Fe、Ni(Cr)/ Cr_3C_2 、TaC/Ni及びこれらの1種以上を含む組合せがある。WC-Coサーメットの場合、適当な組成物としては、12~20重量%のCoと残部のWCを含むものがある。WC-CoCrサーメットの場合、適当な組成物としては、6~10重量%のCo、4~8重量%のCr及び残部のWCを含むものがある。耐エロージョン性皮膜64のさらに別の実施形態としては、セラミック又はサーメットの1種以上（例えば、上述の金属又は合金マトリックスのいずれか）を含む組合せがある。また、同一又は異なる耐エロージョン性材料の複数の耐エロージョン性層を有する耐エロージョン性皮膜64、例えば、多層構造の接着性を促進して密着した耐エロージョン性皮膜64とするため金属層を挟み込んだものも挙げられる。これらの材料の多くで、強く密着した散在金属層を形成するのにCr、Ti又はTaを用いることができ、特にこれらの金属の1種がセラミック又はサーメットの構成成分である場合に、強く密着した散在金属層を形成することができるが、他の金属も使用できる。例えば、Ti/TiN/Ti/TiN/.../Ti/TiN又はTiN/Ti/TiN/Ti.../TiN/Ti又はTiN/Ti/TiN/Ti/.../Ti/TiN又はTi/TiN/Ti/TiN.../Ti/TiN/Tiのように、複数のTi層とTiN層との交互配列（順次又は順不同の交互配列を含む）を含む多層耐エロージョン性皮膜64がある。耐エロージョン性セラミック及びサーメット材料のうち、単一層のTiN又はWC-CoCr、複数のTi層とTiN層を含む多層構造について試験したが、これらは耐エロージョン性皮膜64としての使用に特に適している。上述のセラミック及びサーメット材料の場合、組成物は化学量論組成物であっても、様々な非化学量論的組成物であってもよい。例えば、非化学量論組成物は、結晶格子に残留圧縮応力を導入するのに使用でき、それらの公知の堆積法を用いて堆積させることができる。

【0028】

翼形表面32の材料よりも増大した耐エロージョン性を付与するのに有効である限り、任意の適当な厚さの単層及び多層耐エロージョン性皮膜64を使用し得る。一実施形態では、単層TiNについて、有効な層厚には、約5 μm の最小厚、5~10 μm の範囲の単層厚があり、残留圧縮応力は約3792MPa以上である。複数のTi層とTiN層の交互配列を含む多層である別の実施形態では、1層当たりの最小厚約5 μm 、最大合計厚約60 μm （4層以上のTiとTiN）が有効である。1以上のTi/TiNの組合せ（さらに好ましくは4以上のTi層とTiN層）の有効な厚さの範囲は約5~60 μm 、特に約25~60 μm 、さらに具体的には約45~60 μm である。耐エロージョン性皮膜64として単一層のWC-CoCrを用いる別の代表的な実施形態では、有効な層厚としては、例えば、約3ミルの最小厚、3~7ミルの範囲の単層厚があり、残留圧縮応力は約3792MPa以上である。最小厚は裸の翼形表面32よりも大きな耐エロージョン性をもたらすのに有効な厚さであり、一般に、薄層に付随するピンホールのような皮膜欠陥を回避

しながら、フィルム冷却孔などの特徴部を含めて表面を完全に被覆するのに十分な層の厚さである。最大厚は任意の適当な厚さでよいが、一般に、所定の作動環境で所望の耐用寿命を翼形表面にもたらすとともに、場合に応じて耐エロージョン性皮膜が施工される翼形表面 3 2 又は犠牲皮膜 6 2 に対する所望の接着性又は結合強度を維持するのに有効な厚さである。最大厚は、通例、翼形表面 3 2 又は犠牲皮膜 6 2 上に耐エロージョン性材料を施工する方法、付随する犠牲皮膜 6 2、及び翼形部皮膜 6 1 内の全残留圧縮応力の所望の最小量の関数である。全残留圧縮応力の最小量は翼形部皮膜 6 1 及び耐エロージョン性皮膜 6 4 で望ましく、一般に、翼形表面 3 2 に付与される残留圧縮応力の最小量と少なくとも同じ大きさの量であって、翼形部皮膜 6 1 は翼形表面 3 2 内の残留圧縮応力を所望の最小量未満に低減することがなく、翼形部皮膜 6 1 は所望の最小量の残留圧縮応力を維持する。

10

【0029】

翼形部皮膜 6 1 は、複数のセラミック（又はサーメット）層と金属層を交互に有する耐エロージョン性皮膜 6 4 を含むものを始めとして、通例、E B-P V D、フィルタードアーク蒸着法のような物理気相堆積（P V D）によって、さらに典型的にはスパッタリング法によって形成される。本発明での使用に適したスパッタリング技術としては、特に限定されないが、直流ダイオードスパッタリング、高周波スパッタリング、イオンビームスパッタリング、反応性スパッタリング、マグネトロンスパッタリング及びステアードアークスパッタリングがある。炭化物又は窒化物を含むセラミック層の形成に際して、堆積は、通例、それぞれ炭素源（例えばメタン）又は窒素源（例えば窒素ガス）を含む雰囲気中で実施される。ホウ化物の場合、堆積すべき金属ホウ化物を含む原料又は標的材料を使用すればよい。金属層の形成に際しては、スパッタリングは通例不活性雰囲気中で実施される。

20

【0030】

翼形表面 3 2 とその上に設けられた翼形部皮膜 6 1 を有する翼形部 1 0 の幾つかの実施形態を図 3～図 6 に示す。翼形部皮膜 6 1 は、上述の種類の犠牲皮膜 6 2 と耐エロージョン性皮膜 6 4 とを含んでおり、犠牲皮膜 6 2 は翼形表面 3 2 又は耐エロージョン性皮膜 6 4 よりも卑である。

【0031】

図 3 を参照すると、第 1 の実施形態の翼形部 1 0 及び翼形表面 3 2 では、A l、C r、Z n、N i-A l 合金、A l-S i 合金、A l 基合金、C r 基合金、Z n 基合金、A l ポリマー複合材又はこれらの組合せの層を含む犠牲皮膜 6 2 が翼形表面 3 2 に設けられている。犠牲皮膜 6 2 の上に設けられているのは、上述のセラミック又はサーメット材料（T i N など）の層 6 6 を含む耐エロージョン性皮膜 6 4 である。犠牲皮膜 6 2 は上述の通り翼形表面 3 2 又は耐エロージョン性皮膜 6 4 よりも卑である。

30

【0032】

図 4 を参照すると、第 2 の実施形態の翼形部 1 0 及び翼形表面 3 2 では、A l、C r、Z n、N i-A l 合金、A l-S i 合金、A l 基合金、C r 基合金、Z n 基合金、A l ポリマー複合材又はこれらの組合せの層を含む犠牲皮膜 6 2 が翼形表面 3 2 上に設けられている。犠牲皮膜 6 2 の上に設けられているのは、上述の金属層 6 8 とセラミック（又はサーメット）層 6 6 の交互配列を含む多層（例えば交互に並んだ T i 層と T i N 層）を含む耐エロージョン性皮膜 6 4 である。犠牲皮膜 6 2 は、上述の通り翼形表面 3 2 又は耐エロージョン性皮膜 6 4 よりも卑である。

40

【0033】

図 5 を参照すると、第 3 の実施形態の翼形部 1 0 及び翼形表面 3 2 は翼形表面 3 2 上に設けられた犠牲皮膜 6 2 を有しており、犠牲皮膜 6 2 は、導電性アンダーコートとその上に設けられた無機マトリックスバインダー中に複数のセラミック粒子と導電性粒子を埋設してなるオーバーコートの層を含む。犠牲皮膜 6 2 の上に設けられているのは、上述の上述のセラミック又はサーメット材料（T i N など）の層 6 6 を含む耐エロージョン性皮膜 6 4 である。犠牲皮膜 6 2 は上述の通り翼形表面 3 2 又は耐エロージョン性皮膜 6 4 より

50

も卑である。

【0034】

図6を参照すると、第4の実施形態の翼形部10及び翼形表面32は、翼形表面32上に設けられた犠牲皮膜62を有しており、犠牲皮膜は、導電性アンダーコートと、アンダーコート上に設けられた無機マトリックスバインダー中に複数のセラミック粒子と導電性粒子を埋設してなるオーバーコートとの層を含む。犠牲皮膜62の上に設けられているのは、上述の金属層68とセラミック（又はサメット）層66の交互配列を含む多層（例えば交互に並んだTi層とTiN層）を含む耐エロージョン性皮膜64である。犠牲皮膜62は上述の通り翼形表面32又は耐エロージョン性皮膜64よりも卑である。

【0035】

図7を参照すると、第5の実施形態の翼形部10及び翼形表面32では、上述の金属層68とセラミック（又はサメット）層66の交互配列を含む多層（例えば交互に並んだTi層とTiN層）を含む耐エロージョン性皮膜64が翼形表面32上に設けられている。耐エロージョン性皮膜64上には犠牲皮膜62が設けられており、犠牲皮膜は、導電性アンダーコートと、アンダーコート上に設けられた無機マトリックスバインダー中に複数のセラミック粒子と導電性粒子を埋設してなるオーバーコートとの層、例えば、ポリマーマトリックス中にAl粒子を含む導電性Al塗料のアンダーコート層と、酸化アルミニウム、酸化クロム及びアルミニウム粒子が埋設されたリン酸クロム酸塩セラミックの無機マトリックスを有するオーバーコート層とを含む。犠牲皮膜62は上述の通り翼形表面32又は耐エロージョン性皮膜64よりも卑である。

【0036】

以上、特にタービン動翼10の実施形態を例にとってタービン圧縮機翼形部1について説明してきた。上述の耐エロージョン性皮膜64と犠牲皮膜62を含む翼形部皮膜32を有するタービン圧縮機翼形部1としては、上述のような水滴エロージョン又は隙間腐蝕に付される可能性のある翼形表面を有する他のタービン部品に付属する翼形部も包含される。これらには、図1に示すように、タービン静翼100、シュラウド200、燃焼器ライナー300、その他の翼形表面を有する部品400が挙げられる。本発明のタービン圧縮機翼形部については以下の実施例を参照することによって理解を深めることができよう。

【実施例】

【0037】

実施例1

水洗及び水噴霧による出力増加時のタービンでの圧縮機部品に対する水衝撃を模擬するため水滴エロージョン試験を用いた。タービン環境を最も再現できるように粒子速度及び液滴粒度を調節した。一群のCustom 450ステンレス鋼の円筒形試験クーボンを、厚さ約6～8μmの単層TiN、複数のTiとTiNの多層（各層の最小厚5μm、全厚約45μm）、及び10重量%のCoと4重量%のCrと残部のWCからなる組成の厚さ約4～6ミルのWC-CoCr層を含む何種類かの耐エロージョン性皮膜で被覆した。これらの耐エロージョン性皮膜を有する試験クーボンを回転試験治具で試験したが、その際、モーター駆動の5フィート翼の前縁の外側端に試験クーボンを取り付けた。装置は、DV90が740μmの水滴の連続噴霧中を翼及び試験クーボンが速度800フィート／秒で回転するように設計されていた。試験をエロージョンによる孔食の発生が観察されるまで続け、孔食発生までの時間を記録した。結果を図8に示す。試験は、耐エロージョン性皮膜がCustom 450ステンレス鋼の水滴エロージョン耐性の改良に有効であることを実証している。すべての耐エロージョン性皮膜において、裸のCustom 450表面に比べて耐エロージョン性が大幅に向上した。

【0038】

実施例2

第2の試験では、上述の翼形部皮膜で被覆したCustom 450試験クーボンで分極走査及びガルバニック腐食試験を行った。一群のCustom 450ステンレス鋼の試験クーボンを翼形部皮膜で被覆したが、これは、翼形表面としてのCustom 45

10

20

30

40

50

0板と、大気プラズマ溶射（APS）法で施工した50 μ m厚のAl皮膜と、高速フレー
ム（HVOF）溶射法で施工した150 μ m厚のWC-CoCr皮膜とを含んでいた。試
験条件は、湿気と塩分を含む凝縮性ガスを模擬するため、50℃でpH=4.0の酸性で
ある5%NaCl（塩-噴霧塩素レベルに近似）を用いた。試験は皮膜性能を評価するた
めの促進腐食試験であった。隙間をもつCustom 450試験クーポンを用いてASTM
G61に準拠した繰返し分極腐食試験を利用した。試験クーポンに隙間を形成する
のに、付属のネジ付きボルトでトルクを40in-lbに下げたセラミックワッシャーを
用いた。図9に示す通り、繰返し分極ループにヒステリシスが存在しないことと試験クー
ポンの試験後の顕微鏡写真から隙間腐食がないことは明らかであり、目視検査によって、
繰返し分極走査の際にCustom 450に赤錆その他の腐食の徴候が生じていないこと
が認められた。皮膜系の腐食電位すなわち定常状態の非分極（実際の作動）条件での電
位は約-840mVである。これは、同じpH及び温度条件で5%NaClに暴露した裸
のCustom 450の腐食電位つまり E_{corr} （約-300mV）よりも約550mV
低い。従って、皮膜系は、酸性塩化物媒体中でCustom 450基材に比べて卑つま
り犠牲的であるといえる。このように、犠牲皮膜（Al）と耐エロージョン性皮膜（WC
-CoCr）を含む系は、タービン圧縮機翼形部環境下で耐エロージョン性及び耐食性を
もたらすのに適している。試験クーポンは隙間の有無にかかわらず類似した分極挙動を示
し（すなわち隙間腐食を起こさず）、同様の腐食速度を示した。別の実験では、上記の皮
膜系をCustom 450ピンの端と外側から電氣的に短絡し、それらをpH=4.0
及び50℃で同様の5%NaCl溶液に暴露した。現場条件に暴露したときの実際の皮膜
系の欠陥を模擬するため、上記皮膜系とCustom 450ピン端部の面積比を150
:1に保った。Custom 450と二層皮膜系の電気化学的腐食電位の差により、短
絡すると外部回路を通して電流が流れ、電流レベルをZRA（ゼロ抵抗の電流計）でモニ
ターした。皮膜と基材との間のガルバニ電位もモニターし、Ag-Ag-AgCl参照電
極を基準にして-850mV付近であった。図10から、皮膜とCustom 450ピ
ン基材の間で約1.0マイクロアンペアの定常状態電流がモニターされていることが分か
る。正の電流量と方向から、基材よりも皮膜の方が優先的に腐食するという点で皮膜は犠
牲的なものである。このように、現場条件においても、腐食性化学種が基材に達するほど
皮膜に割れ目ができた場合にも、皮膜はガルバニック腐食から基材を保護する。

【0039】

限られた数の実施形態を参照して本発明を説明してきたが、本発明はこれらの実施形態
に限定されるものではなく、本明細書には記載していないが本発明の技術的思想及び技術
的範囲に属する変形、変更、置換又は均等な構成を本発明に組み込むことができる。また
、本発明の実施形態を種々記載してきたが、本発明の態様は記載した実施形態の一部のみ
を含んでいてもよい。従って、本発明は、以上の説明によって限定されるものではなく、
特許請求の範囲によってのみ制限される。

【符号の説明】

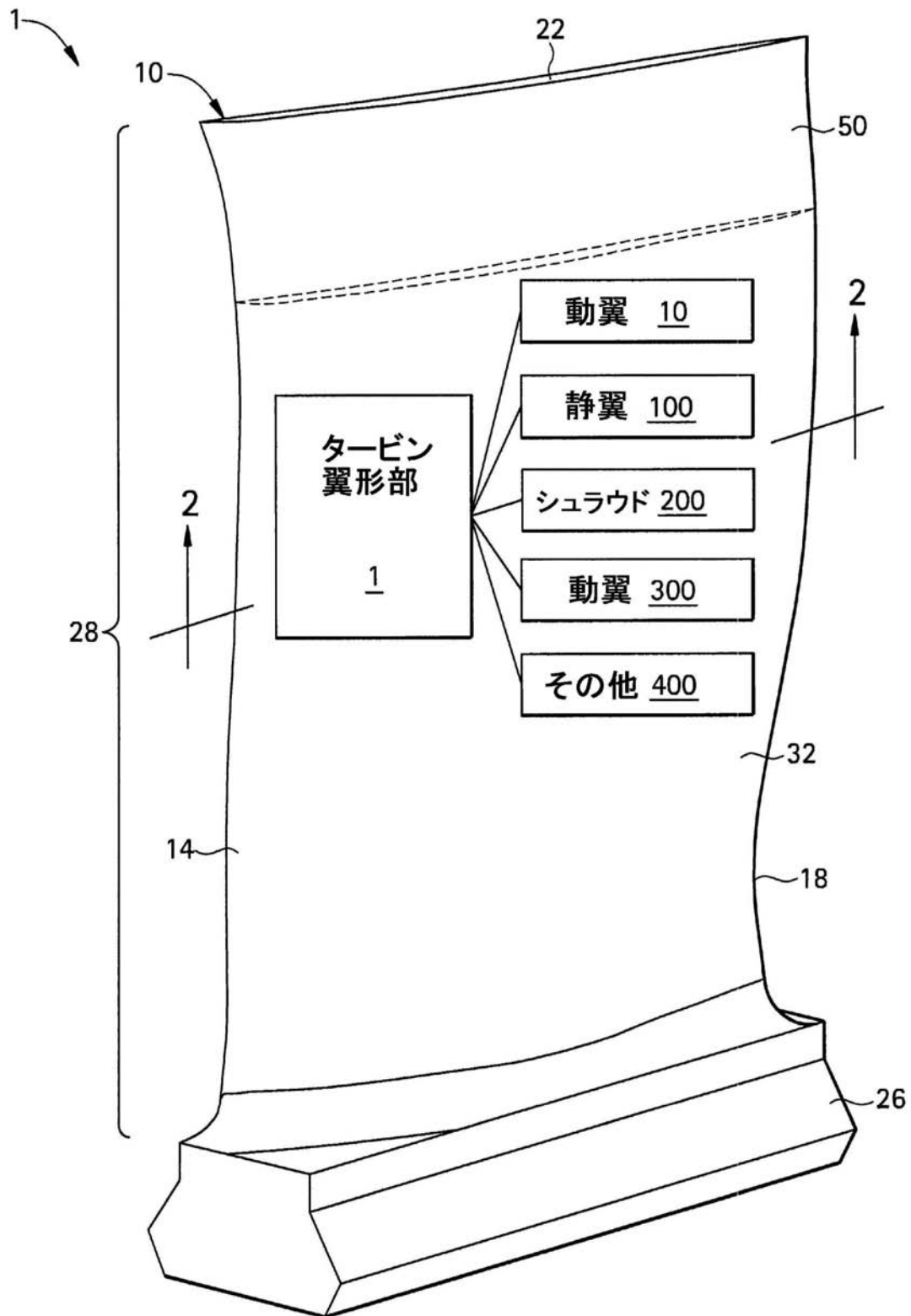
【0040】

1	タービン圧縮機翼形部
10	動翼／翼形部
14	前縁
18	後縁
22	先端
26	動翼根元部
28	翼長
30	負圧面
32	翼形表面
34	正圧面
50	先端
61	翼形部皮膜

- 6 2 犠牲皮膜
- 6 4 耐エロージョン性皮膜
- 6 6 セラミック又はサーメット
- 6 8 金属

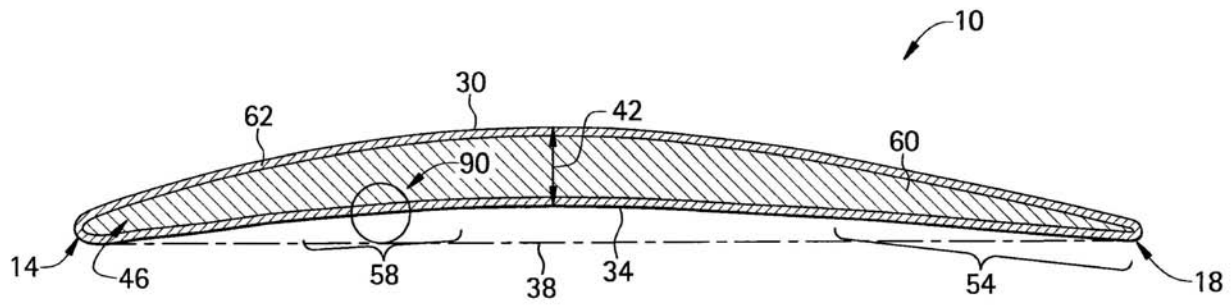
【図 1】

FIG. 1



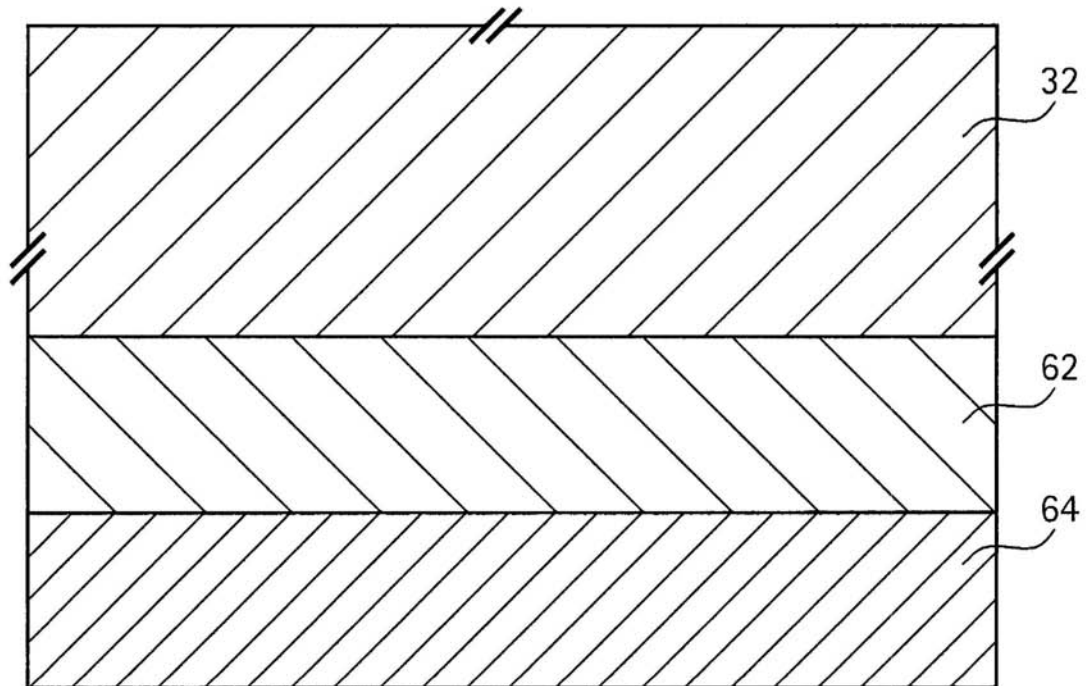
【図 2】

FIG. 2



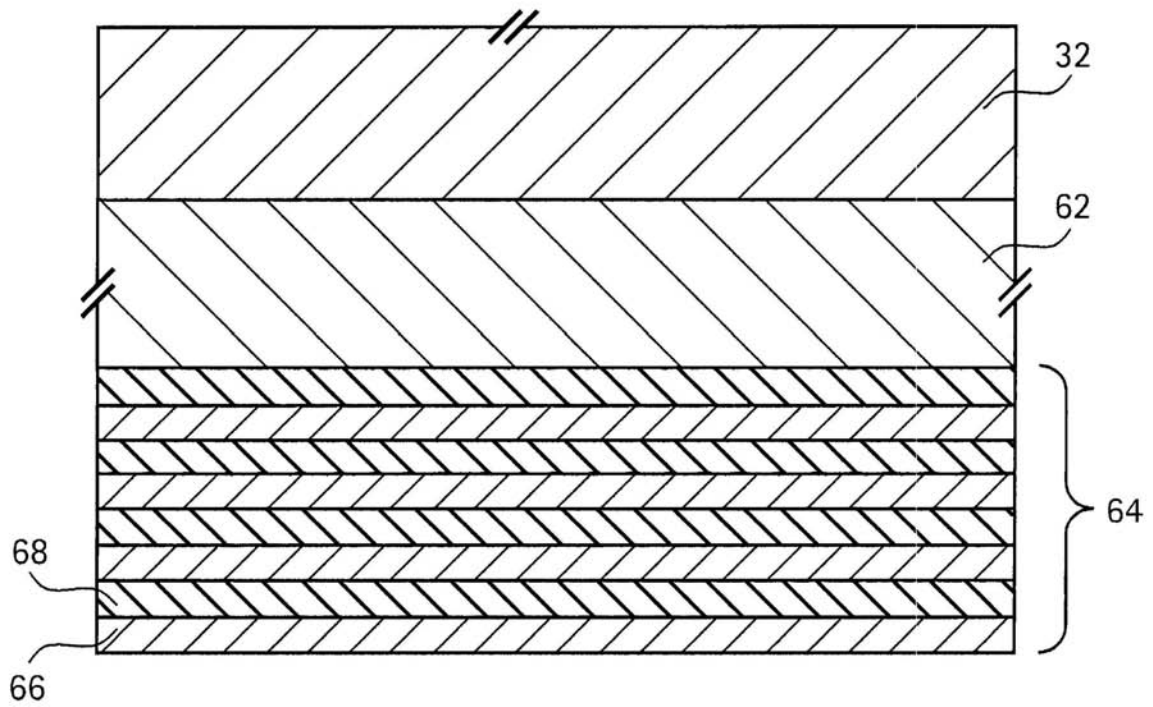
【図 3】

FIG. 3



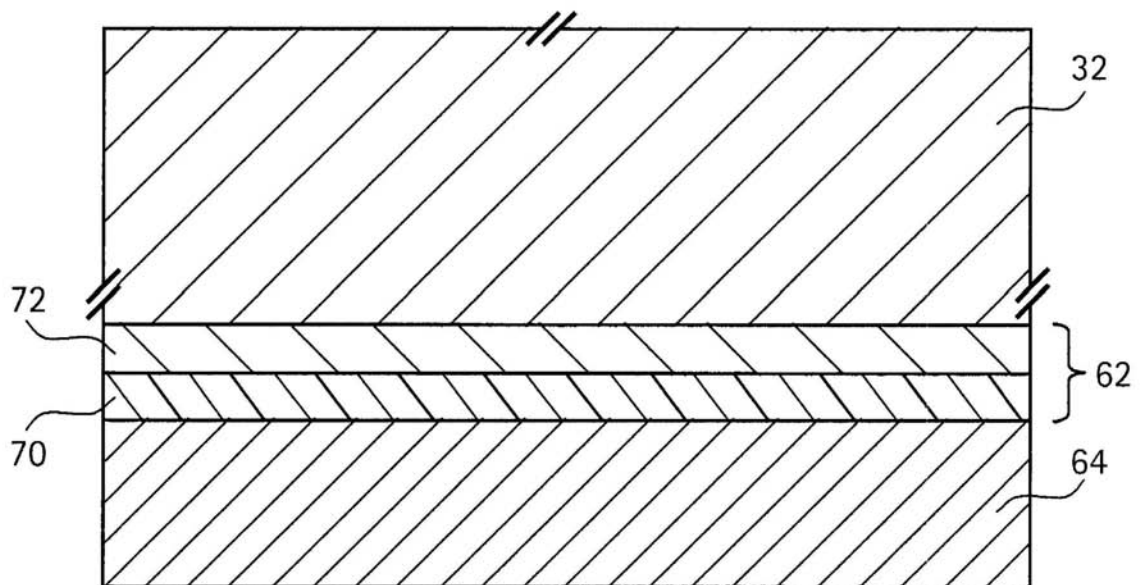
【図 4】

FIG. 4



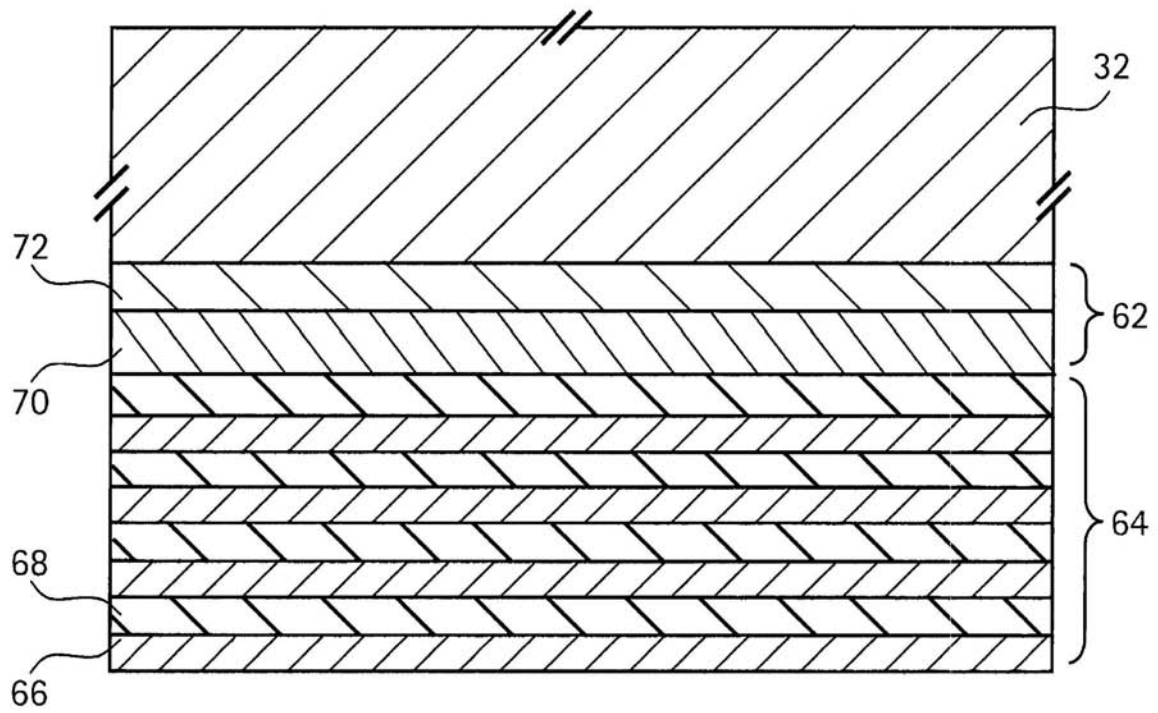
【図 5】

FIG. 5



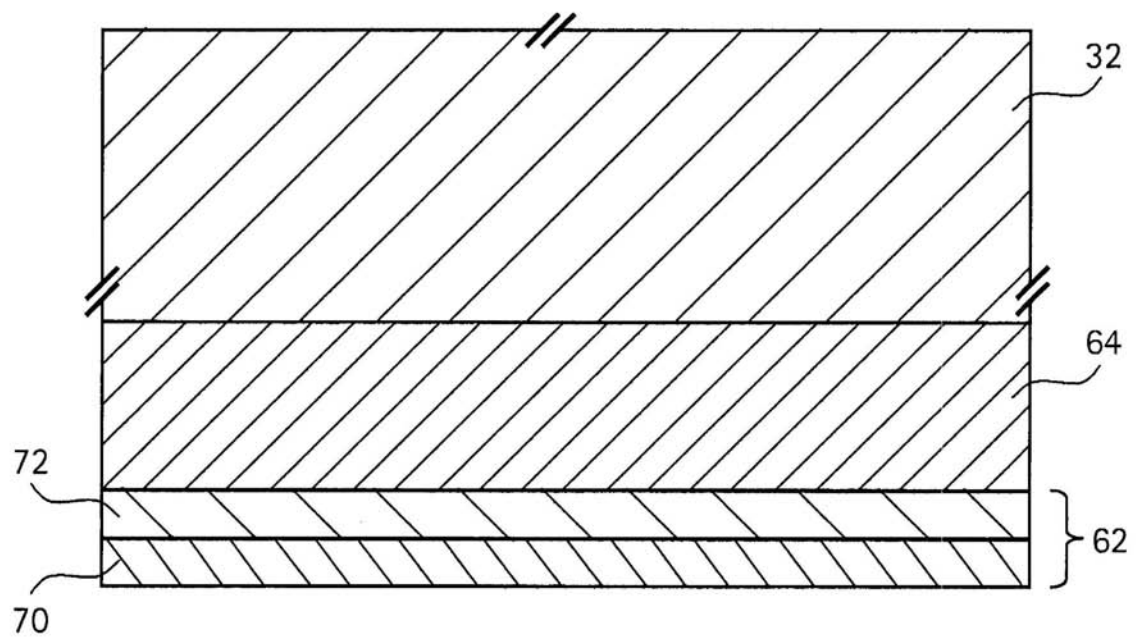
【図 6】

FIG. 6



【図 7】

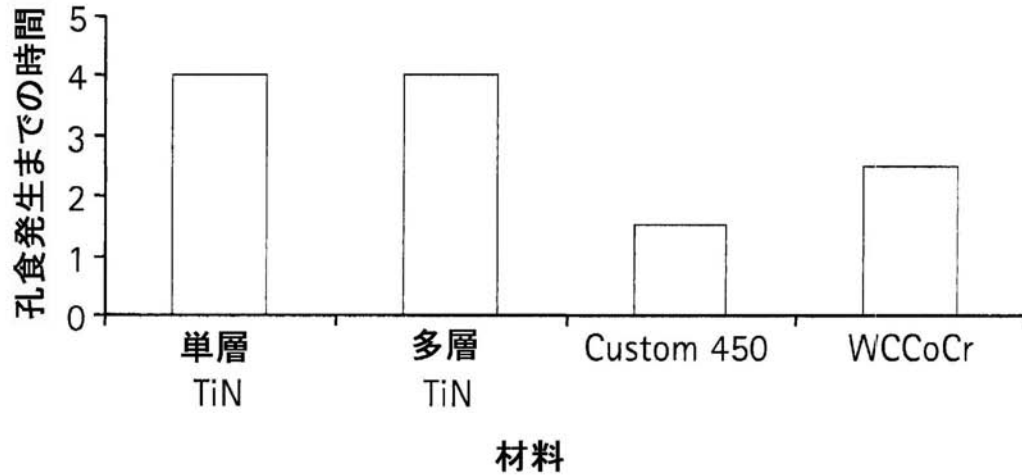
FIG. 7



【図 8】

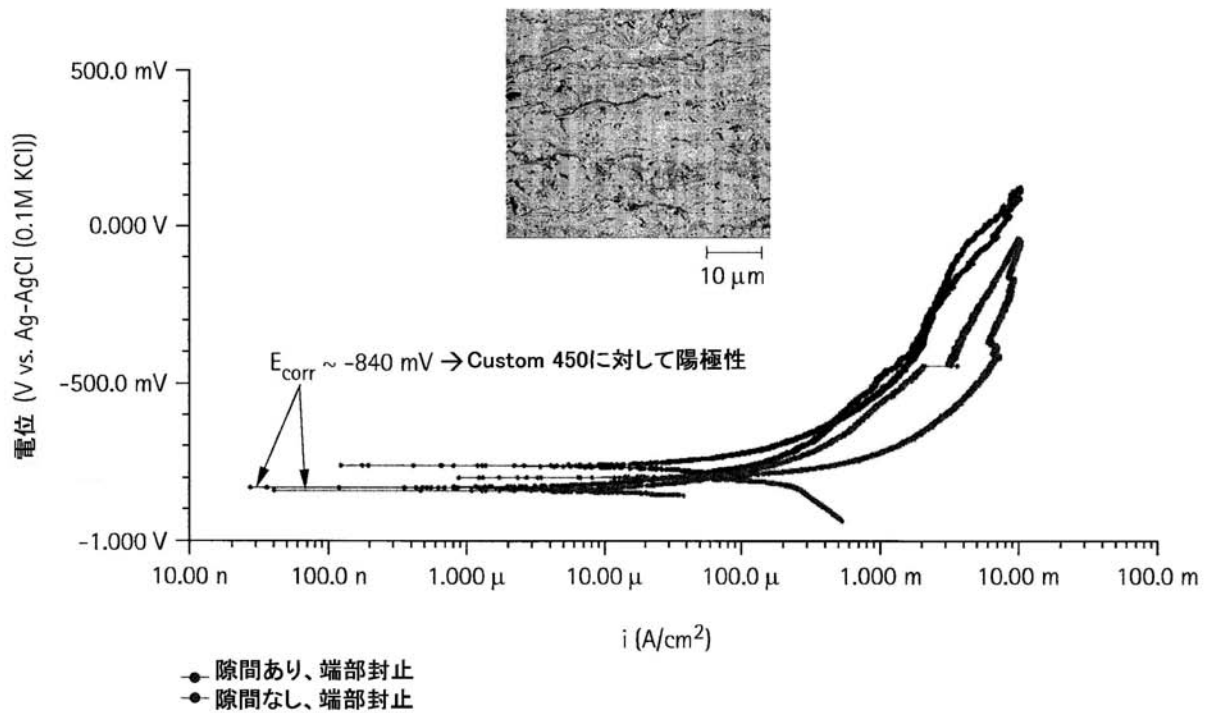
FIG. 8

水滴エロージョン寿命

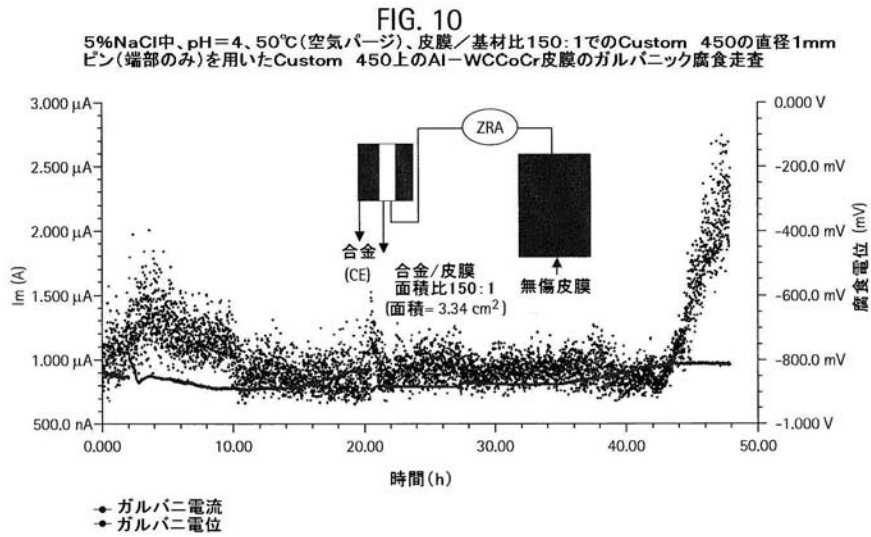


【図 9】

FIG. 9



【図 10】



フロントページの続き

- (72)発明者 クリシュナムルティ・アナンド
インド、560005、カルナータカ、バンガロール、ラヘジャ・マンション、203番
- (72)発明者 デビッド・ヴィンセント・ブッシ
アメリカ合衆国、サウスカロライナ州、シンプソンヴィル、ウィロウ・オーク・コート、24番
- (72)発明者 ユック・チュウ・ラウ
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ボールストン・レイク、ブルー・スプース・レーン、22番
- (72)発明者 シュリンダー・パブラ
アメリカ合衆国、サウスカロライナ州、グリーア、アスコット・リッジ・レーン、344番
- (72)発明者 ヴィノド・クマール・パリーク
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、アルバニー、キングズ・ミル・コート、8番
- (72)発明者 ジョン・コンラッド・シェイファー
アメリカ合衆国、サウスカロライナ州、シンプソンヴィル、カーディフ・コート、3番
- (72)発明者 グルブラサド・スンダララジャン
インド、カルナータカ、バンガロール、アッシュヴィル・アパートメント、205番
- Fターム(参考) 3H130 AA13 AB27 AB52 AC17 BA24C CB01 DD09Z EC03C EC14C EC16C
EC17C EC18C ED01C